

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

ГУДКОВОЙ ИНЕССЫ ЮРЬЕВНЫ

**«ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ БЕДНЫХ РУД И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

**Актуальность** диссертации обусловлена отсутствием эффективных и экологически безопасных технологий переработки и утилизации металлосодержащих отходов промышленных предприятий. В настоящее время эксплуатируемые запасы рудных месторождений истощаются, а новые месторождения либо бедны, либо не имеют необходимой инфраструктуры, в связи с чем возрастает значение вопроса переработки многочисленных техногенных отходов.

В диссертации создан инновационный задел для реализации технологии сквозного извлечения металла из шламов металлургических предприятий, бедных руд и отходов кожевенного производства. Применяемый в работе метод фильтрационного горения извлечения металла из шихты характеризуется относительно низкими затратами энергии и простотой управления температурным режимом. К достоинствам метода следует отнести также возможность обогащения и переработки шихты с низким менее 1 % содержанием металла.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** В диссертационной работе И.Ю. Гудковой разработана оригинальная методика извлечения металлов из твердых техногенных отходов в процессе фильтрационного горения шихты в сверхадиабатическом режиме. В работе использованы современные апробированные методы исследования структуры продуктов

сгорания: рентгенофазовый анализ, рентген – флуоресцентная спектрометрия, атомно-спектральный анализ. Экспериментальные методы исследования дополнялись термодинамическими расчетами химически равновесных состояний системы с использованием известной апробированной программы «Терра» на базе данных ИВТАН-ТЕРМО. Сочетание разнообразных методик исследования подтверждает достоверность полученных результатов, рекомендаций и выводов диссертации.

**К новым научным результатам** диссертационной работы можно отнести

– методику извлечения молибден-, цинк- и хромосодержащих продуктов из шихты в процессе фильтрационного горения в лабораторных реакторах-газификаторах

– оптимальные режимы и параметры фильтрационного горения металлсодержащих систем, соответствующие максимально возможному извлечению целевого продукта – металла или оксидов металла

– экспериментальное исследование дисперсности и структуры молибден-, цинк- и хром-содержащих продуктов, полученных в результате фильтрационного горения шихты, содержащей техногенные отходы.

**Практическая значимость.** Полученные в диссертации результаты по извлечению из шихты целевого продукта (металлов и оксидов металла) в процессе фильтрационного горения в лабораторных реакторах-газификаторах могут служить основой для создания промышленной технологии вторичной переработки металлсодержащих твердых техногенных отходов с низким содержанием металла. Практическая значимость основных положений и выводов диссертации подтверждается актами внедрения результатов работ по извлечению молибдена из техногенных отходов и некондиционного сырья на предприятии ЗАО НПП «Промтех» г. Екатеринбург.

Содержание диссертационной работы соответствует области исследований специальности 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества (п. 7. – закономерности и механизмы распространения, структура, параметры и устойчивость волн горения и п. 8 – взаимодействие волн горения и взрывчатого превращения со средой, объектами и веществами; процессы горения и взрывчатого превращения в устройствах и аппаратах для производства энергии, работы, получения веществ и продуктов; управление процессами горения и взрывчатого превращения).

Диссертация изложена на 129 страницах и содержит 37 рисунков, 16 таблиц, 110 литературных ссылок и 2 акта внедрения результатов работ. Диссертация состоит из введения, 6 глав, основных выводов по работе, заключения, списка литературы и приложения.

Во **введении** изложена постановка проблемы и цель работы, представлены такие обязательные аспекты как актуальность, научная новизна, практическая значимость, положения выносимые на защиту, методология и методы исследования.

В **первой главе** дан обзор литературы по фильтрационному горению конденсированных веществ, а также по традиционным методам извлечения металлов из минерального и техногенного сырья.

Во **второй главе** описана методика проведения экспериментов на основе модельного реактора фильтрационного горения. Приведены методы анализа состава твердых продуктов сгорания. Отбор проб из шихты и со стенок реактора осуществлялся в соответствии с парциальным делением столба шихты в реакторе.

В **третьей главе** представлены результаты применения метода фильтрационного горения к молибденсодержащим составам: молибденит с бентонитовой глиной и молибденсодержащие промышленные катализаторы. Задача заключалась в определении оптимальных параметров процесса сжигания с максимальной степенью извлечения триоксида молибдена  $\text{MoO}_3$

из шихты в газовую фазу (возгон). Для первого состава получено, что степень извлечения  $\text{MoO}_3$  в газовую фазу увеличивается до 56% относительной начальной концентрации при добавлении в шихту 20% угля. Для второго состава с никелевым катализатором в газовую фазу переходит до 78%  $\text{MoO}_3$  при исходной 12%-ой концентрации.

В **четвертой главе** приведены результаты по фильтрационному горению металлургического шлама с 1% содержанием цинка и цинксодержащих составов, моделирующих руду. Получено, что степень извлечения цинксодержащих продуктов в газовую фазу может достигать 34% для каламин-галмеевой породы и до 99% для колчеданной руды. При горении металлургического шлама ставилась задача обогащения верхней части столба шихты в реакторе продуктами горения нижней части. Не смотря на значительный процент извлечения цинка из нижней части (50-70%) и обогащения им верхней части шихты достичь экономически целесообразных значений концентрации цинка с перспективой дальнейшей промышленной переработкой отходов не удалось.

В **пятой главе** рассмотрено сжигание хромсодержащих образцов, частично или полностью состоящих из отходов кожевенного производства. В результате проведенных термодинамических расчетов показано, что соединения хрома при температуре горения ниже 2400 К находятся в конденсированном состоянии и остаются в твердых продуктах горения шихты. Экспериментально установлены оптимальные параметры системы, при которых реализуется стабильный режим горения с высокой воспроизводимостью результатов.

В **шестой главе** приведены результаты измерения удельной поверхности дисперсных продуктов горения методом Брунауэра-Эммета-Теллера, на основе которых рассчитаны характерные размеры частиц оксидов металла в предположении их сферической формы.

Основные результаты автора представлены в 9 публикациях в различных рецензируемых научных журналах и в 17 трудах научных

конференций. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы.

Несмотря на высокий уровень проведенных исследований, к работе имеется несколько замечаний.

1. В работе достаточно часто используется в качестве одного из компонентов системы «кузбасский уголь» (стр. 34, 39, 58 ...), зольность которого меняется в пределах от 3% на стр. 58 до 20% на стр. 43. Название «кузбасский уголь» не относится к принятой в России классификации углей.
2. Необходимо пояснить не очевидный результат, приведенный на рис. 3.3. стр.43. Температура и скорость горения шихты с инертным наполнителем выше, чем для состава с углем (кривые 1 и 3, соответственно). При этом не указано, что было выбрано в качестве инертного наполнителя.
3. Не описано влияние масштабного эффекта с изменением диаметра реактора (таб. 4.2.).
4. В таблице 4.9. для фиксированного состава и скорости потока  $v=0.1$  м/с (с теплоизоляцией реактора и без) приведены различные значения по температуре горения и концентрациям веществ.

Вместе с тем, отмеченные недостатки и замечания не снижают общую высокую оценку полученных в диссертации результатов.

С учетом актуальности проведенных исследований, научной новизны и практической значимости полученных результатов считаю, что представленная диссертационная работа И.Ю. Гудковой «Извлечение металлов из бедных руд и техногенных отходов с использованием метода фильтрационного горения» удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Гудкова Инесса

Юрьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент

профессор кафедры математической физики

Томского государственного университета

доктор физико-математических наук

14 ноября 2016 г.

В.Г. Прокофьев

Прокофьев Вадим Геннадьевич

Доктор физико-математических наук

Профессор кафедры математической физики физико-технического факультета

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет». 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

8 (3822) 529 845, [pvg@ftf.tsu.ru](mailto:pvg@ftf.tsu.ru)

«Подпись В.Г. Прокофьева заверяю»

Ученый секретарь ТГУ



Н.А. Сазонтова